

9) LA REPRODUCCIÓN

CONCEPTO DE REPRODUCCIÓN

La **reproducción** tiene por objetivo la procreación de nuevos individuos a partir de los existentes. Es un fenómeno por el cual los seres vivos producen a expensas de su propio cuerpo una célula o un grupo de células que mediante un proceso de **desarrollo** se transformarán en un nuevo organismo semejante al de origen.

En los seres vivos se dan formas muy diversas de reproducción. No obstante, se pueden agrupar en dos modalidades diferentes:

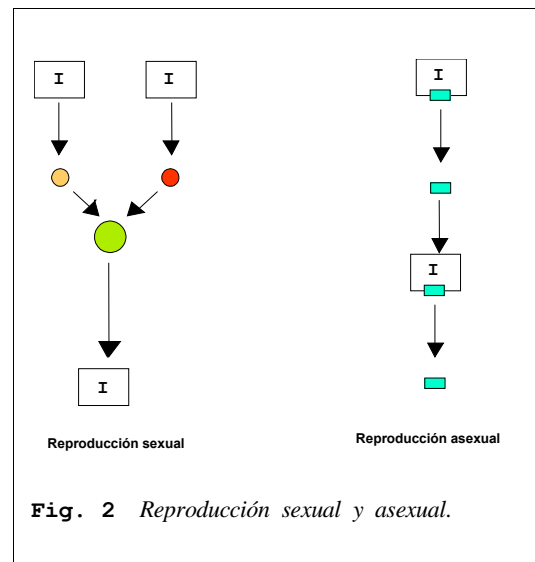
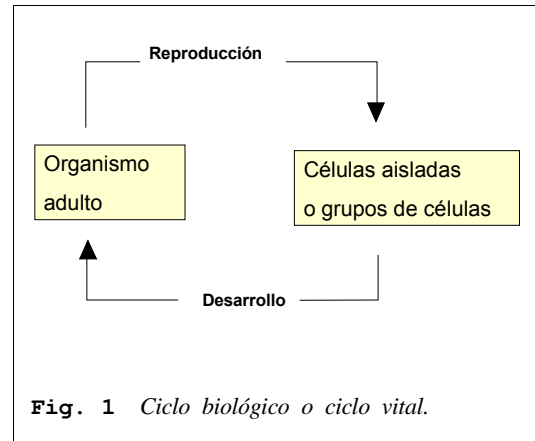
- **Reproducción asexual**
- **Reproducción sexual**

La reproducción asexual. No existen ni fecundación ni gametos. Se lleva a cabo a partir de células **somáticas** ya que del organismo progenitor se separan determinadas partes de su cuerpo, puede ser también una sola célula, que están destinadas a formar un nuevo individuo completo.

La reproducción asexual fue, probablemente, el primer mecanismo de reproducción que tuvieron los seres vivos, pues no requiere procesos tan complejos como los que se necesitan en la reproducción sexual.

La reproducción asexual se presenta preferentemente en los organismos vegetales y en los unicelulares, mientras que en los animales se da, sobre todo, en los menos evolucionados.

La reproducción sexual. Se caracteriza por la producción de células **especializadas** haploides: las **células sexuales** o **gametos**. Normalmente estas células no pueden desarrollarse por sí mismas y dar un nuevo individuo, necesitan unirse para formar una célula mixta de núcleo diploide, el **zigoto** o **célula huevo**. El proceso de fusión de ambos gametos para formar el cigoto recibe el nombre de **fecundación**.



La reproducción sexual es la forma más extendida e importante de reproducción. Prácticamente todos los seres vivos, incluso los organismos unicelulares, tienen reproducción sexual. La reproducción sexual está íntimamente relacionada con la evolución de los organismos.

DIFERENCIAS ENTRE AMBOS TIPOS DE REPRODUCCIÓN

Diferencias formales:

- La reproducción asexual se lleva a cabo a partir de células somáticas.
- En la reproducción sexual intervienen células germinales especializadas: los gametos.

Diferencias genéticas:

- Reproducción asexual: No produce variabilidad genética al existir sólo mitosis.
- Reproducción sexual: Produce variabilidad genética mediante la recombinación genética en la meiosis y mediante la fecundación.

CICLOS BIOLÓGICOS

Un **ciclo biológico** o **ciclo vital** es la serie progresiva de cambios que experimenta un individuo o una sucesión de éstos entre dos procesos de fecundación

Según la posición relativa que adquieran la fecundación y la meiosis dentro del ciclo biológico de un ser vivo podremos clasificar su ciclo biológico como: **haplonte**, **diplontes** o **diplohaplonte**.

Haplontes. En este tipo de ciclo biológico el cigoto diploide originado por fecundación experimenta la meiosis (R!) y da lugar a cuatro células haploides o **esporas** asexuadas

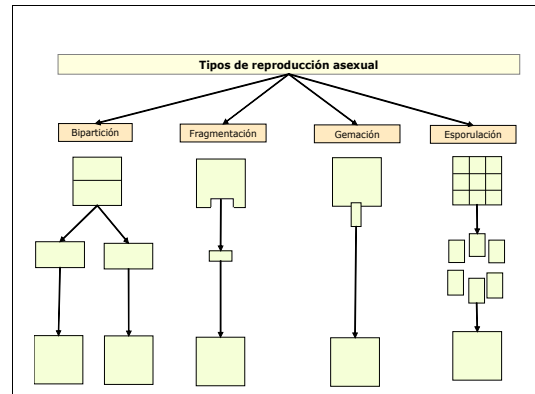


Fig. 3 Tipos de reproducción asexual.

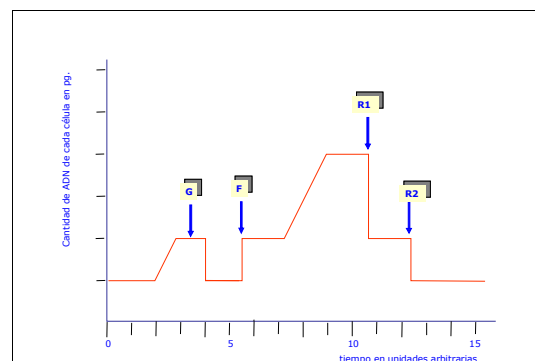


Fig. 4 Variación de la cantidad de ADN en una célula que ha seguido un ciclo haplonte completo. G) Formación de gametos por mitosis; F) Fecundación; R1 y R2) Citocinesis 1 y 2 de la meiosis.

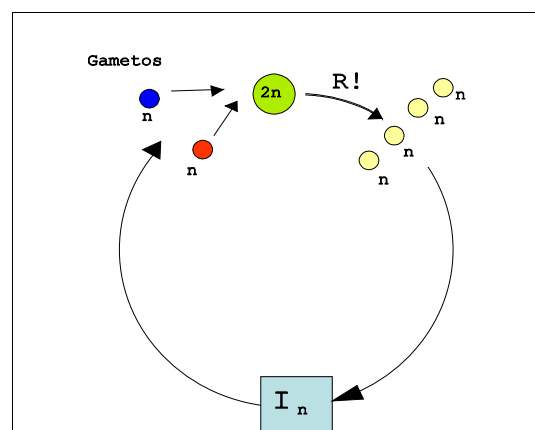


Fig. 5 Ciclo haplonte. R!) Meiosis.

que se desarrollan dando origen a un individuo adulto haploide (n). Éste formará gametos sin mediar la meiosis. Se trata de un ciclo en el que la meiosis se encuentra inmediatamente después de la fecundación. Son haplontes algunas especies de algas, hongos y protistas.

Diplontes. Con los diplontes sucede todo lo contrario ya que la meiosis ($R!$) no está después de la fecundación sino que la precede. El individuo adulto es diploide ($2n$) y sólo los gametos son haploides (n). Tienen un ciclo diplonte los animales y algunas especies de unicelulares, de algas y de hongos.

Diplohaplontes o haplodiploides. Del cigoto se desarrolla, como en los diplontes, una generación diploide en la que tiene lugar la meiosis ($R!$), no para producir gametos, sino para dar células haploides, **esporas**, cada una de las cuales desarrolla un organismo haploide productor de gametos. En algunas especies, como *Ulva lactuca*, las generaciones haploide y diploide son morfológicamente semejantes. En otras, como ocurre con los musgos, helechos y plantas superiores, ambas generaciones presentan diferentes aspectos. Los ciclos diplohaplontes son característicos de la mayoría de los vegetales.

EJEMPLO DE UN CICLO HAPLONTE

En la **figura 8** vemos el ciclo haplonte en un alga. El cigoto (A), $2n$, en lugar de desarrollarse y dar lugar al alga, sufre la primera ($b1$) y la segunda división de la meiosis ($b2$) dando cuatro células haploides (B). Estas (B) se desarrollan (c) y cada una forma un organismo haploide (D). En ciertas zonas de este (D_1), sin necesidad de meiosis, se producen los gametos (E). La unión de los gametos, fecundación (f), da lugar al cigoto (A), cerrándose el ciclo.

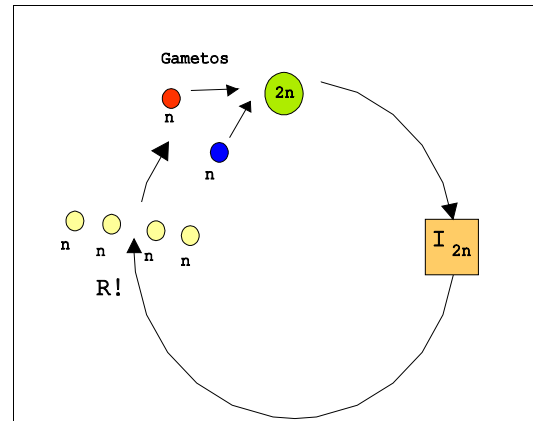


Fig. 6 Ciclo diplonte. $R!$ Meiosis.

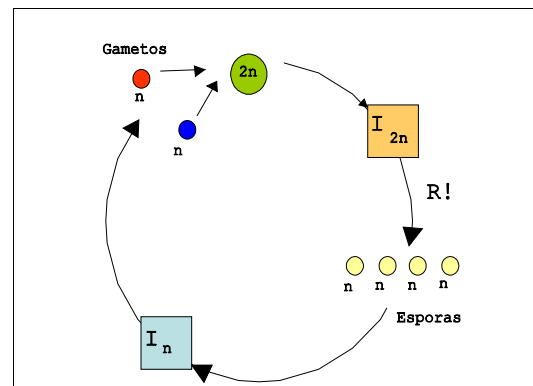


Fig. 7 Ciclo diplohaplonte. $R!$ Meiosis.

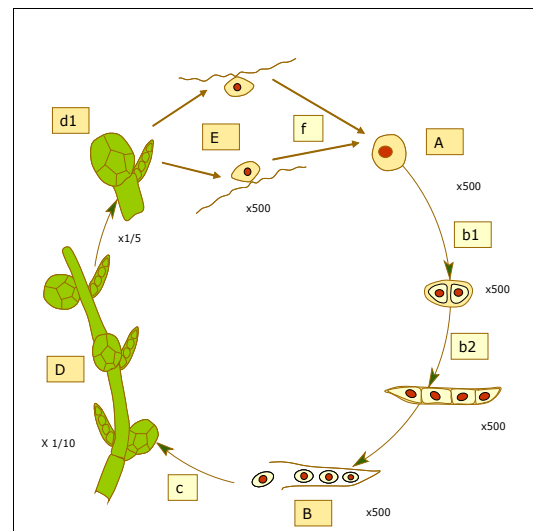


Fig. 8 Ciclo biológico haplonte de un alga. A) Zigoto; $b1$ y $b2$) meiosis; B) esporas haploides; c) Fase de desarrollo; D) organismo haploide; $d1$) órganos reproductores; E) gametos; f) fecundación .

EJEMPLO DE UN CICLO DIPLONTE: LAS AVES

Vemos en la **figura 9**, como ejemplo de ciclo diplonte, el caso de las aves, que sería extensible al de muchos otros animales. En ellas, los adultos son diploides y por meiosis producen gametos haploides. Estos se unen (fecundación) y producen un cigoto diploide, que se desarrolla y da un nuevo individuo.

En este tipo de ciclo predomina la fase diploide, mientras que la fase haploide queda reducida a los gametos.

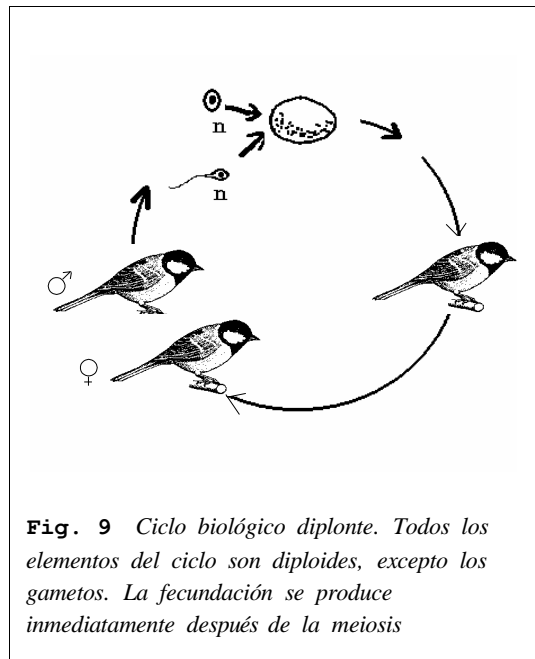


Fig. 9 Ciclo biológico diplonte. Todos los elementos del ciclo son diploides, excepto los gametos. La fecundación se produce inmediatamente después de la meiosis

EJEMPLO DE UN CICLO DIPLOHAPLONTE: LOS MUSGOS

Los musgos, tal y como frecuentemente los vemos, forman unas matitas almohadilladas. Cada matita: **gametofito**, tiene n cromosomas y está constituida por una serie de ramitas con pequeñas hojas de color verde. En los extremos de algunas

ramitas se desarrollan los órganos reproductores masculinos: los **anteridios**, en el interior de los cuales, sin necesidad de la meiosis, se forman los gametos masculinos: los **anterozoides**. En los extremos de otras ramitas se forman los órganos reproductores femeninos: los **arquegonios**, y en su interior una única célula reproductora femenina: la **oosfera**. En condiciones de humedad se abren los anteridios y salen los anterozoides, flagelados, que nadan hasta los arquegonios y fecundan la oosfera. Se forma así una célula con $2n$ cromosomas: el **zigoto**. A partir de éste se desarrolla una estructura $2n$: el **esporofito**, formado por un **filamento** y una **cápsula**. En el interior de la cápsula se produce la meiosis, formándose células con n cromosomas. Estas células darán lugar a las **esporas**, también con n cromosomas, a partir de las cuales se desarrollará el gametofito cerrándose el ciclo.

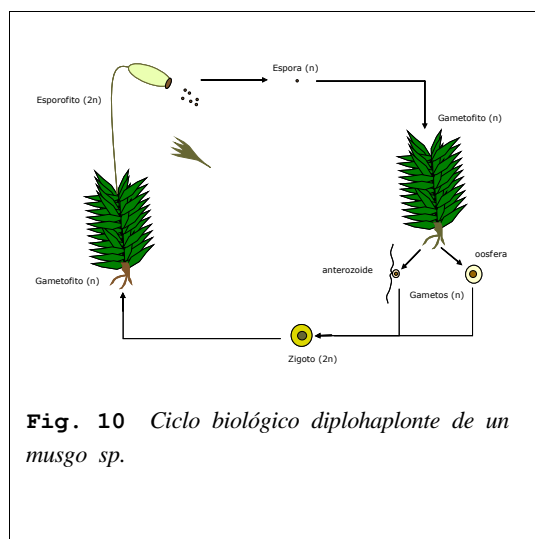


Fig. 10 Ciclo biológico diplohaplonte de un musgo *sp.*

Vemos que en los musgos la fase haploide o gametofito predomina sobre la fase diploide o esporofito. Por el contrario, en los helechos, es la fase diploide la predominante y la fase haploide queda reducida a una simple laminilla de pequeño tamaño. Un caso extremo de reducción se observa en las plantas con flor: las fanerógamas.

REPRODUCCIÓN SEXUAL

Como ya se ha dicho, en la reproducción sexual intervienen gametos y es un proceso que produce variabilidad genética mediante la recombinación genética en la meiosis y mediante la fecundación.

FORMACIÓN DE LOS GAMETOS

En los seres unicelulares los gametos se forman a partir de la propia célula por un proceso de meiosis y diferenciación.

En los seres pluricelulares se forman en órganos especializados. En las plantas estos órganos reciben el nombre de **gametangios**. Éstos se llaman **anteridios** si producen gametos masculino: **anterozoides**, y **arquegonios** si producen gametos femeninos: **oosferas**. En los animales los órganos productores de los gametos son las **gónadas**: **testículos**, las gónadas masculinas donde se forman los **espermatozoides** y **ovarios** las femeninas, donde se forman los **óvulos**.

GAMETOGÉNESIS EN LOS ANIMALES

La transformación de las células germinales en **gametos** constituye la **gametogénesis**.

En los animales la gametogénesis da lugar a gametos femeninos: **óvulos**, en las hembras, y gametos masculinos: **espermatozoides**, en los machos. La formación de óvulos y espermatozoides son procesos que presentan grandes similitudes. No obstante, existen importantes diferencias, por lo que hay que distinguir una gametogénesis masculina: **espermatoogénesis** y una gametogénesis femenina: **ovogénesis**.

a) ESPERMATOGÉNESIS

La formación de los espermatozoides tiene lugar en las gónadas masculinas: los **testículos**. En los vertebrados y en los insectos los testículos son órganos compuestos por numerosos **túbulos seminíferos** que convergen en conductos comunes que llevan el esperma maduro al exterior. El examen microscópico de estos túbulos seminíferos (Figura 11) permite reconocer fácilmente el curso de la espermatogénesis y distinguir sus diferentes fases.

1^a) **Fase de proliferación o multiplicación:** Pegadas a la pared del túbulo se encuentran unas pequeñas células (2n) que se multiplican activamente por mitosis, son las **espermatoogonias**.

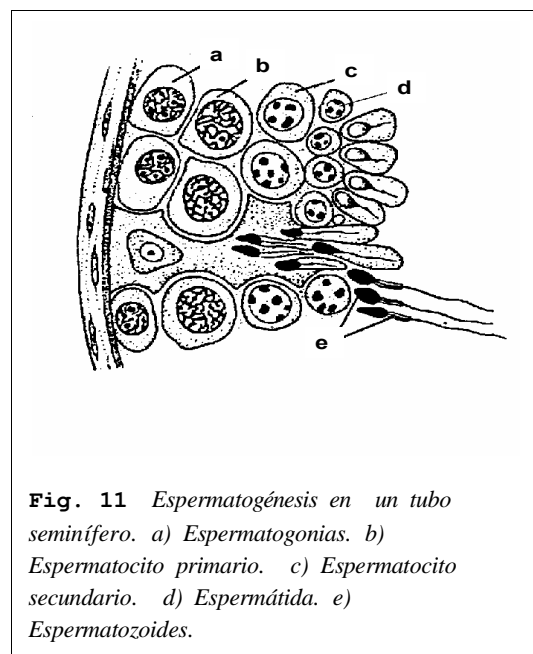


Fig. 11 Espermatogénesis en un tubo seminífero. a) Espermatoogonias. b) Espermatoocito primario. c) Espermatoocito secundario. d) Espermátida. e) Espermatozoides.

2ª) **Fase de crecimiento:** Las espermatogonias que quedan hacia la luz del túbulo experimentan una etapa de crecimiento y pasan a denominarse **espermatoцитos primarios o de primer orden.**

3ª) **Fase de maduración:** Los espermatoцитos primarios van a sufrir la primera división de la meiosis transformándose en **espermatoцитos secundarios.** La segunda división de la meiosis produce unas células haploides llamadas **espermátidas;** por cada espermatoцитo primario se producen cuatro espermátidas.

4ª) **Fase de diferenciación o espermiogénesis:** Las espermátidas no son todavía los gametos, antes deben experimentar una serie de transformaciones anatómicas, etapa llamada **espermiogénesis,** al final de la cual quedarán convertidas en **espermatozoides.** Éstos están formados por las siguientes partes: **cabeza, pieza intermedia y la cola o flagelo.**

En ciertos animales, como los crustáceos decápodos, los espermatozoides no tienen flagelo, siendo incapaces de nadar.

b) OVOGÉNESIS

El desarrollo de los óvulos tiene lugar en las **gónadas femeninas:** los **ovarios.** En este órgano, las **células madres germinales** sufren un complicado proceso en el que se pueden distinguir las siguientes fases:

1ª) **Fase de proliferación o multiplicación:** Las células madres germinales (2n) se multiplican por mitosis dando **ovogonias** (2n).

2ª) **Fase de crecimiento:** Las ovogonias atraviesan una fase de crecimiento y se convierten en **ovocitos de primer orden (ovocitos I),** también con 2n cromosomas. A diferencia de la espermatogénesis el crecimiento es considerable, ya que el óvulo es el gameto portador de la mayoría de las sustancias necesarias para el desarrollo del

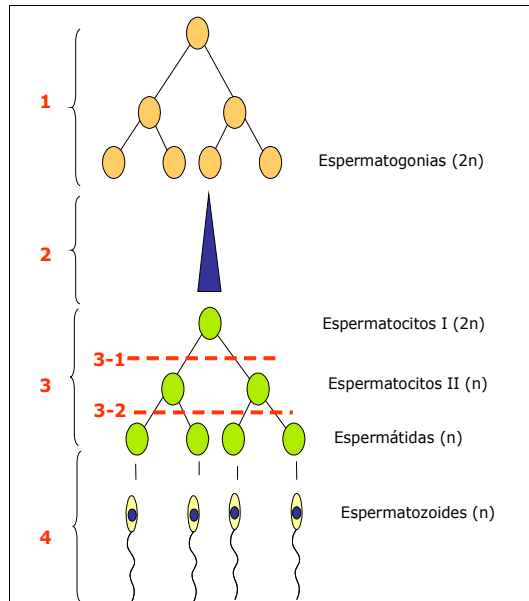


Fig. 12 Espermatogénesis: 1) Fase de proliferación. 2) Fase de crecimiento. 3) Fase de maduración. 3-1) 1ª división de la meiosis. 3-2) 2ª división de la meiosis. 4) Fase de diferenciación.

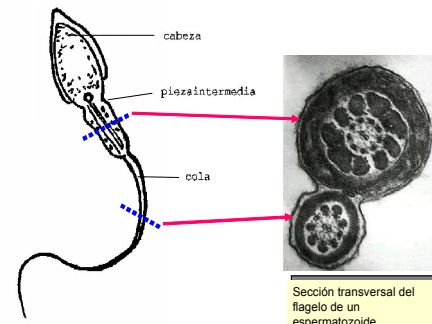


Fig. 13 Estructura del espermatozoide.

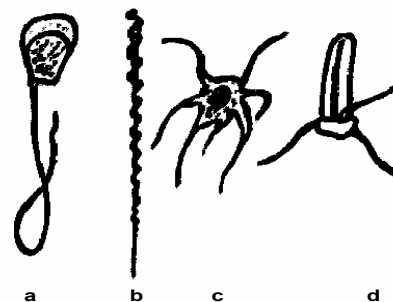


Fig. 14 Espermatozoides de a) cobaya; b) ave sp. ; c) y d) crustáceos.

embrión.

3ª) **Fase de maduración:** Una vez que el ovocito primario ha completado su crecimiento está ya preparado para atravesar las dos divisiones de la meiosis y transformarse en una célula **haploide** con n cromosomas: la **ovótida**.

Una peculiaridad muy importante de la ovogénesis es que durante la meiosis el ovocito no se divide en cuatro células iguales sino que la mayoría del citoplasma queda en una sola de ellas, la que dará lugar al **óvulo**. Así, cada ovocito primario da lugar a un único óvulo. Las otras tres células restantes, muy pequeñas, se denominan **corpúsculos polares** y se trata en realidad de gametos abortivos que permanecen un tiempo adosados al óvulo hasta que terminan por atrofiarse y desaparecer.

4ª) **Fase de diferenciación:** La **ovótida** se transforma en el **óvulo**. En general no se trata de una fase de transformaciones tan acusadas como las que suceden en el espermatozoide.

El óvulo es una célula haploide de gran tamaño, pues almacena sustancias nutritivas en forma de **granos de vitelo**. Como cualquier otra célula está recubierto por la membrana plasmática. Pero en la mayor parte de los animales existen otras membranas de gran espesor envolviendo a la membrana plasmática.

FECUNDACIÓN EN ANIMALES

Concepto: Se da el nombre de fecundación a la fusión de los dos gametos seguida por la unión de sus núcleos.

Consecuencias: La fusión de los gametos activa al óvulo, de manera que éste empieza a desarrollarse. La unión de los dos núcleos da lugar a un sólo núcleo diploide en el que se mezclan las informaciones genéticas de dos progenitores diferentes. Por lo tanto, la fecundación acarrea dos fenómenos diferentes: la activación del **huevo** y la mezcla de caracteres hereditarios.

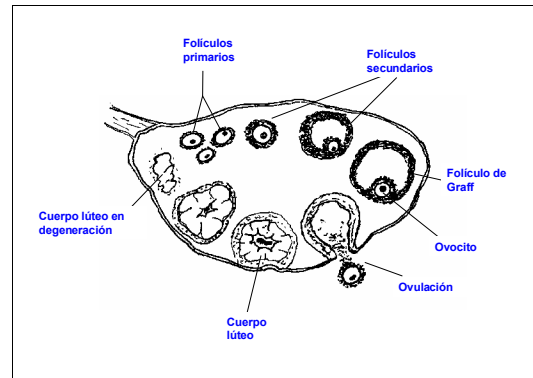


Fig. 15 Ovario mostrando las diversas fases de desarrollo de los folículos durante el ciclo ovárico.

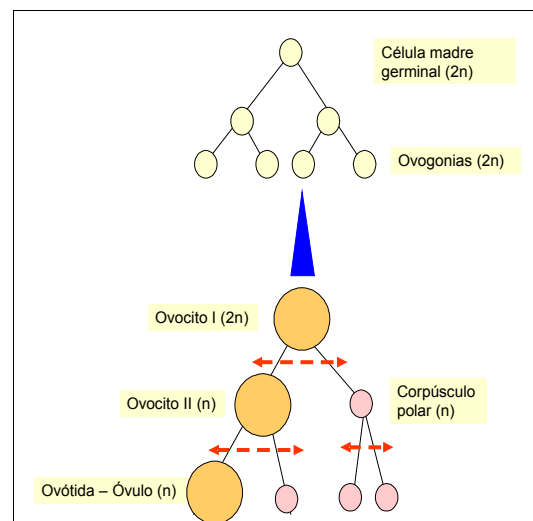


Fig. 16 Ovogénesis.

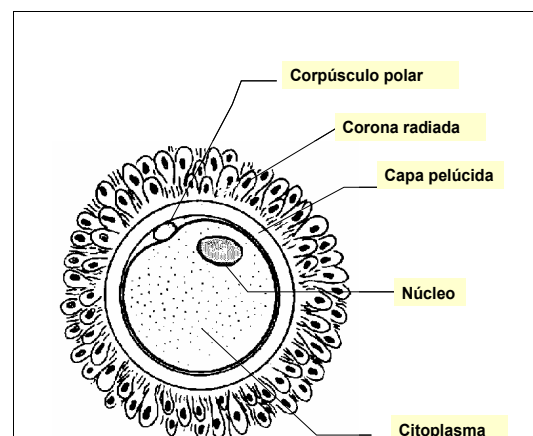
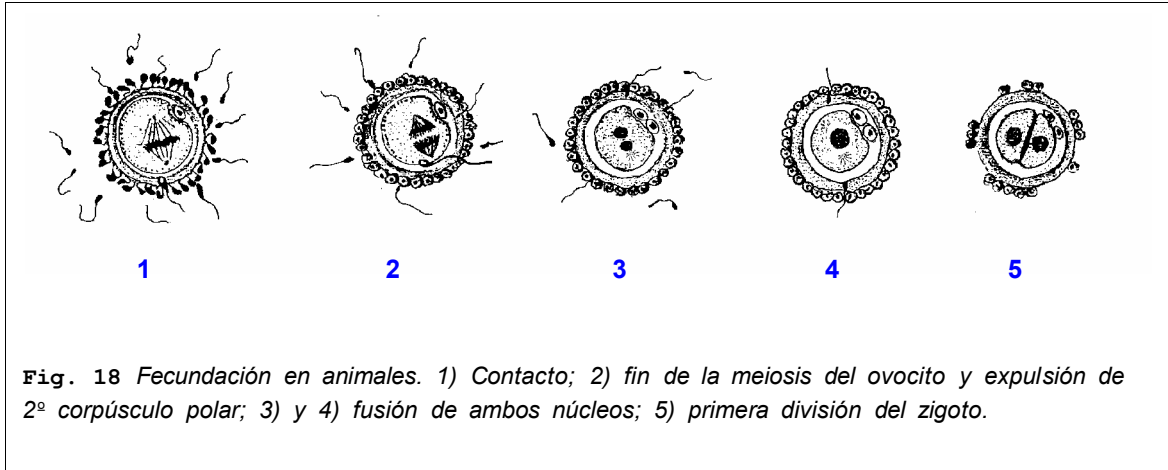


Fig. 17 Óvulo.



FORMACIÓN DE LOS GAMETOS EN LAS PLANTAS CON FLOR

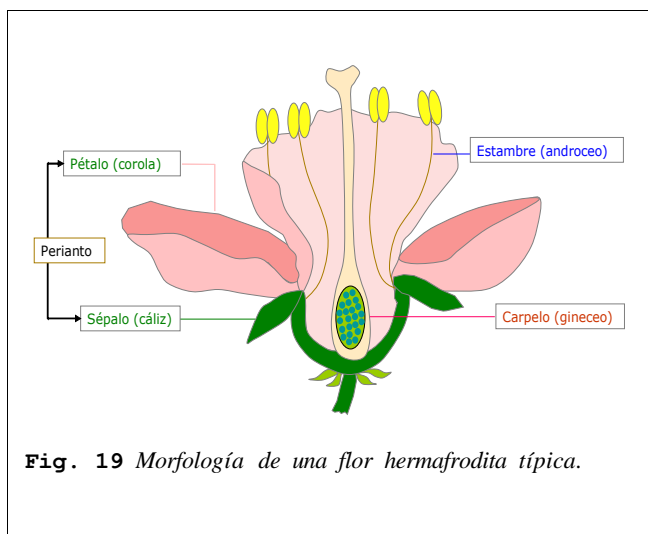
Las plantas con flor reciben el nombre de **fanerógamas**. Estas plantas han conseguido que su reproducción no dependa del medio acuático, como sucede en las algas, musgos y helechos. Para ello se valen de dos "inventos" evolutivos de gran importancia:

- 1º- La polinización asociada con la aparición de las flores.
- 2º- La semilla y el fruto.

MORFOLOGÍA DE LA FLOR

Definiremos la flor como el aparato reproductor de las fanerógamas.

En esencia, la flor es un tallo sobre el que se disponen una serie de órganos que tienen diferentes aspectos según la función que realizan. Todos estos órganos se encuentran situados sobre un ensanchamiento del **pedúnculo floral** llamado **receptáculo**. En una flor hermafrodita típica vamos a encontrar, de afuera hacia dentro, las siguientes partes:



- 1ª- Una envuelta formada por unas hojitas de color verde, los **sépalos**, el conjunto de los cuales recibe el nombre de **cáliz**.

2ª- Una segunda envuelta formada por una serie de piezas, frecuentemente coloreadas, y que reciben el nombre de **pétalos**. Al conjunto de los pétalos se le denomina: la **corola**. Su función es la de atraer a los animales, insectos, por ejemplo, que deben polinizar a la planta.

Cáliz y corola forman el **perianto** y son piezas estériles que envuelven a los elementos sexuales: los **estambres** y los **carpelos**.

3ª Al conjunto de los estambres se denomina: el **androceo**. El androceo es el aparato reproductor masculino. Cada estambre consta, a su vez, de un **filamento** por el que está unido al resto de la flor y de una **antera**. Cada antera está formada por dos **tecas** repletas de **granos de polen**.

4ª- Los carpelos forman el **gineceo** o aparato sexual femenino de la planta. En un carpelo distinguiremos tres partes: Ovario, estilo, estigma. En el interior del ovario se encuentran los **rudimentos seminales** que contienen el gameto femenino u **óvulo**.

FORMACIÓN DE LOS GAMETOS EN LAS PLANTAS CON FLOR

Formación del grano de polen. En los estambres cada teca tiene dos **sacos polínicos** en cuyo interior están las **células madres** de los granos de polen. Cada una de éstas formará por meiosis cuatro células haploides con un sólo núcleo: las **microesporas masculinas**.

Cada microespora dará lugar a un **grano de polen**. Para ello se rodea de dos enveltas: una más interna y delgada, la **intina**, y otra muy gruesa, la **exina**, decorada con relieves característicos en cada especie. El núcleo (n) se va a dividir por mitosis dando dos núcleos n: el **núcleo generativo** y el **núcleo vegetativo**.

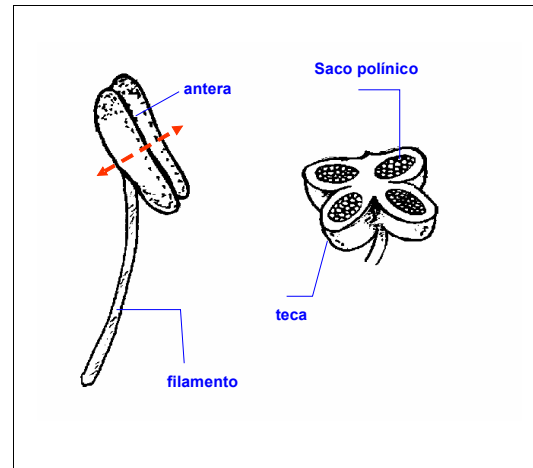


Fig. 20 Partes de un estambre y corte de una antera.

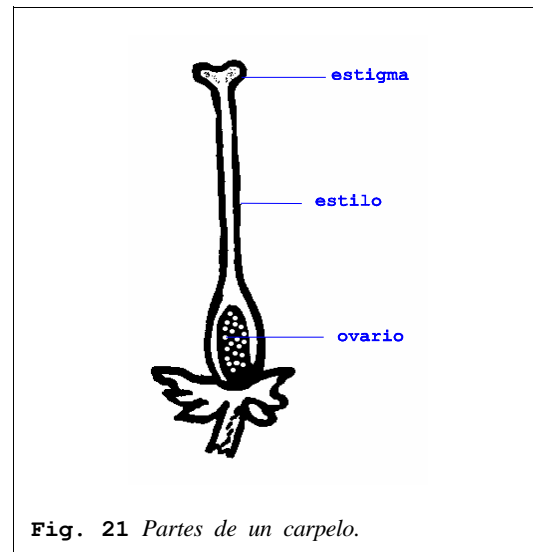


Fig. 21 Partes de un carpelo.

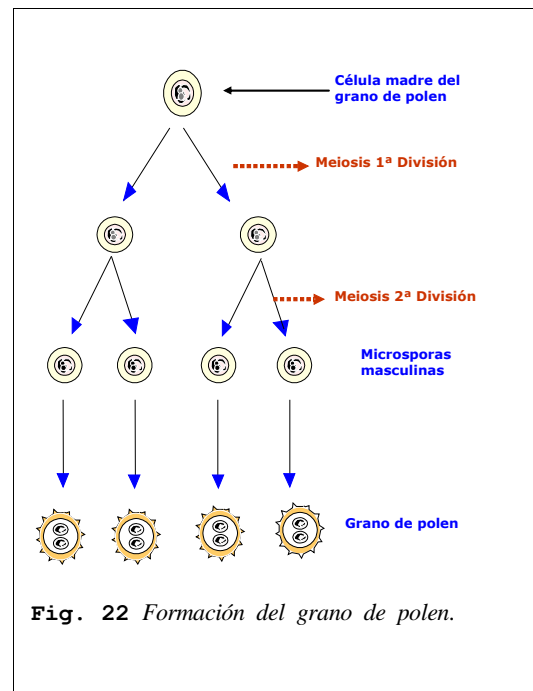


Fig. 22 Formación del grano de polen.

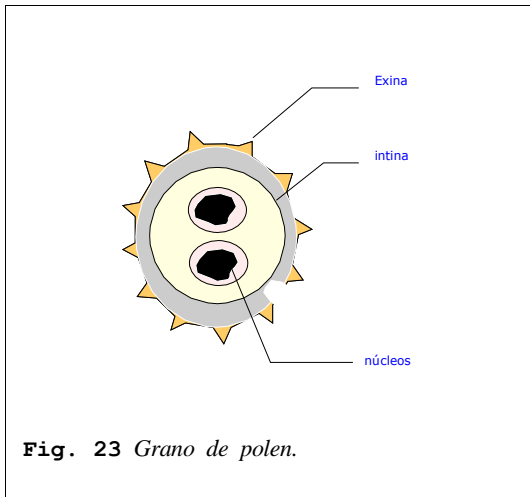


Fig. 23 Grano de polen.

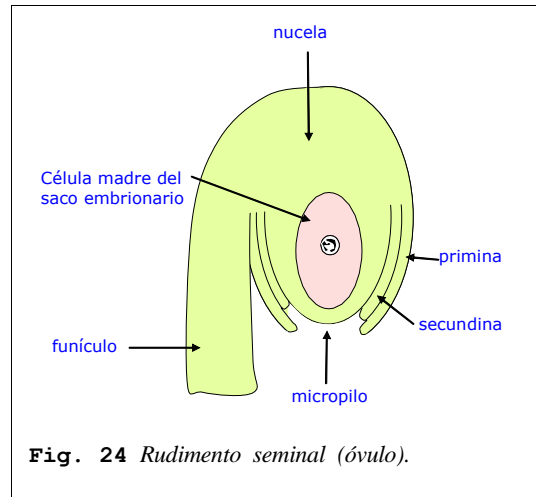


Fig. 24 Rudimento seminal (óvulo).

Formación del saco embrionario. En los carpelos, en el interior de los ovarios, se encuentran los **rudimentos seminales** u **óvulos**. Cada uno está unido al ovario por el **funículo** y protegido por dos envueltas celulares: una más externa, la **primina**, y otra más interna, la **secundina**. Ambas lo rodean dejando un orificio: el **micropilo**. Más al interior encontramos una masa de células: la **nucela**, una de las células de la nucela: la **célula madre del saco embrionario**, se desarrolla considerablemente y por meiosis da cuatro células con **n** cromosomas. Generalmente, tres de ellas degeneran y la que perdura se divide varias veces (tres, normalmente) formando el **saco embrionario**. Cada saco embrionario contiene ocho células (**n**). Las tres superiores son las **sinérgidas**, una de las sinérgidas, la central, es el gameto femenino u **oosfera**; otras dos son las **centrales**, y en la parte opuesta a las sinérgidas, se encuentran las **antípodas**. Las dos sinérgidas y las tres antípodas no tienen ninguna función y después de la fecundación desaparecen.

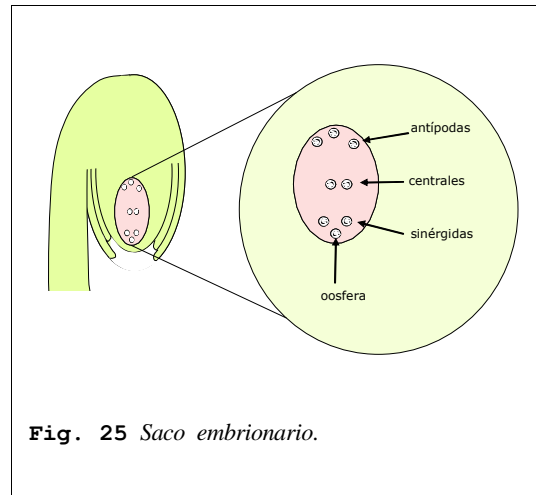


Fig. 25 Saco embrionario.

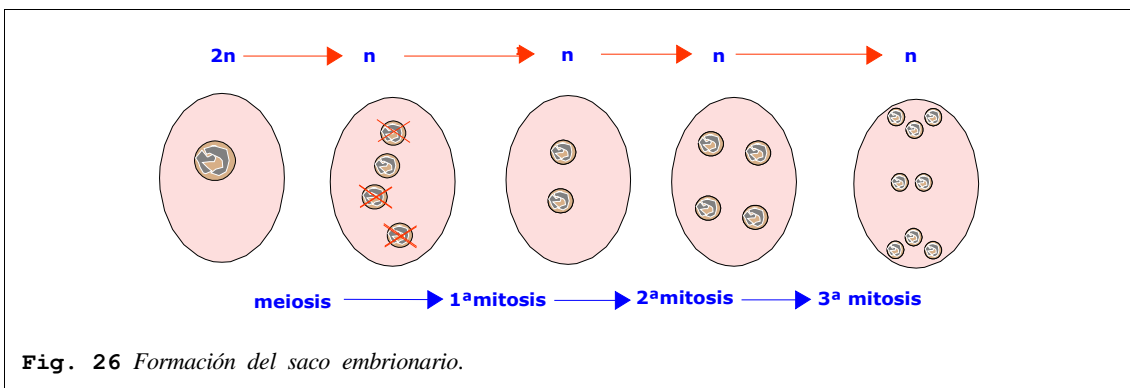


Fig. 26 Formación del saco embrionario.

FECUNDACIÓN EN LAS PLANTAS CON FLOR

Una vez el grano de polen ha llegado al estigma de la flor ésta produce sustancias

que van a provocar la formación por parte del grano de polen de un largo tubo: el **tubo polínico**. Éste penetra por el estigma y se dirige hacia el micropilo. Por el interior del tubo polínico se trasladan el **núcleo vegetativo** y el **núcleo generativo**. Este último, según va descendiendo al encuentro de la oosfera, se divide por mitosis en dos núcleos; se forman así los dos **anterozoides** o gametos masculinos. Una vez que el tubo polínico ha contactado con uno de los sacos embrionarios presentes en el ovario, el núcleo vegetativo desaparece y ambos anterozoides pasan al interior del saco embrionario. Uno de los anterozoides se fusiona con la **oosfera** y formará un núcleo **2n** que dará lugar al **embrión**; el otro se une con los dos núcleos centrales del saco embrionario formando un núcleo **3n** que dará lugar al tejido nutritivo de la semilla llamado: **albumen** o **endospermo**. Vemos que en el interior del saco embrionario se produce una **doble fecundación**.

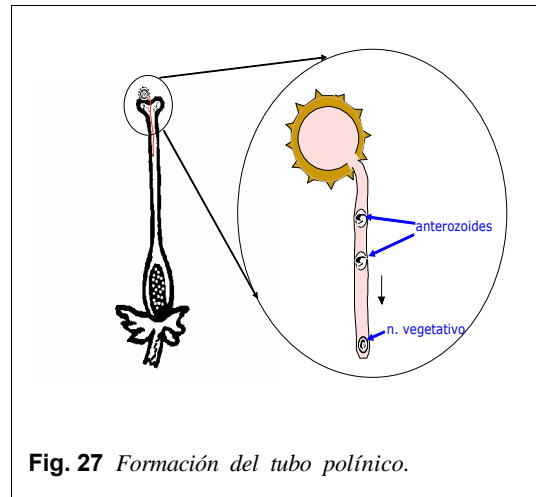


Fig. 27 Formación del tubo polínico.

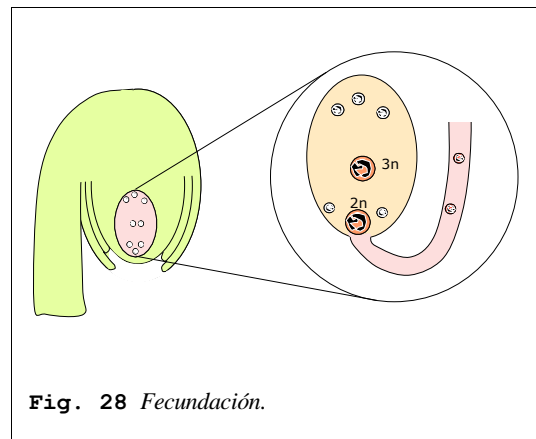


Fig. 28 Fecundación.

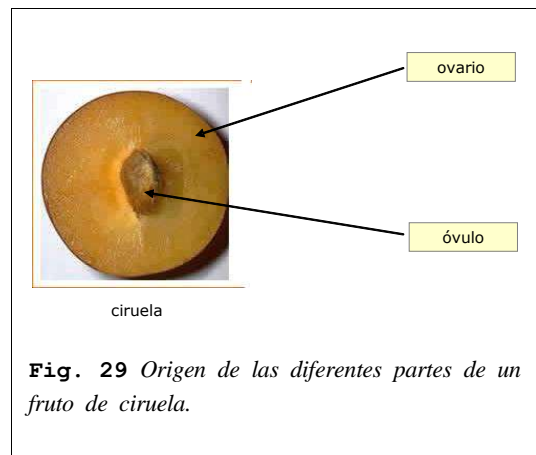


Fig. 29 Origen de las diferentes partes de un fruto de ciruela.

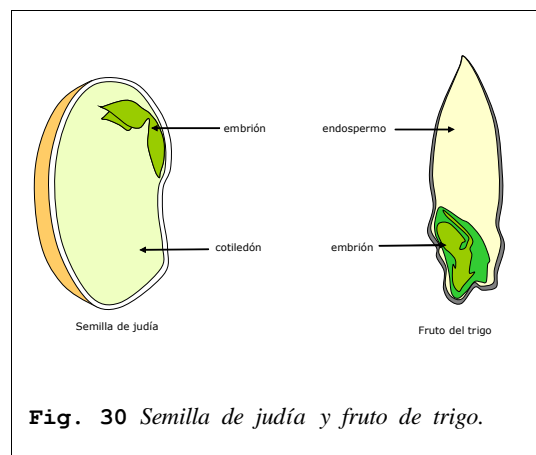


Fig. 30 Semilla de judía y fruto de trigo.